

# СТАДИЙНОСТЬ НАКОПЛЕНИЯ ПОВРЕЖДЕННОСТИ В МАЛОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ ПРИ ДЕФОРМИРОВАНИИ И НАВОДОРОЖИВАНИИ

**Яковенко А. А.**

*Руководитель - д.т.н., проф. Чуканов А. Н.*

ГОУ ВПО «Тульский государственный университет», г. Тула

[alexchukanova@yandex.ru](mailto:alexchukanova@yandex.ru)

В ходе эксплуатации металлические изделия и конструкции подвергаются силовому (деформация), а также коррозионному воздействию, накапливая микронесплошности различного масштабного уровня. Оценить степень поврежденности материала можно с помощью различных методов. Однако, в связи с малым размером микротрещин на начальных этапах разрушения, решение этой задачи представляется довольно трудным. Фиксируя процессы междислокационного взаимодействия, можно получать информацию о присутствии в материалах локальных зон концентраций напряжений и, следовательно, их источников – микротрещин.

Традиционным методом фиксации дислокационной неупругости в материалах является метод внутреннего трения (ВТ). Исследование релаксационных спектров материалов, подвергающихся при эксплуатации разрушению, особенно эффективно на ранних стадиях процесса, когда фиксация поврежденности современными методами контроля проблематична. Температурный спектр ВТ представляет собой комплекс неупругих эффектов (НЭ), отражающих изменение диффузионных характеристик, фазового состава, морфологии фаз, процессов перераспределения растворенных и собственных атомов, формирования суб- и микронесплошностей [1].

*Целью работы* являлась оценка эффективности использования метода ВТ для контроля за стадийностью развития повреждаемости в малоуглеродистых сталях, подвергавшихся силовому (деформация) и коррозионному (электролитическое наводороживание) воздействию.

Измерение ВТ проводили на образцах ( $l = 200$  мм,  $d = 8$  мм) стали марки Ст3 и сплава  $Fe+0,09\%C$  в состоянии поставки (горячекатаные прутки). Использовали резонансную методику измерения ВТ (ГОСТ 25156-82) (частота изгибных колебаний  $\sim 1 \cdot 10^3$  с<sup>-1</sup>). Температурные зависимости ВТ (ТЗВТ) измеряли в диапазоне от  $-100$  до  $500$  °С. Скорость нагрева  $2$  град./мин. Образцы сплава  $Fe+0,09\%C$  деформировали статическим одноосным растяжением. В качестве метода насыщения металла водородом, использовали метод катодной поляризации в растворе  $H_2SO_4$  [3]. Исследованы ТЗВТ образцов стали марки Ст3 при электролитическом наводороживании. Интенсивность влияния водорода варьировали временем электролитического насыщения – от  $1$  до  $30$  часов при плотности тока  $j = 150$  А/м<sup>2</sup>. Стимулятор - роданистый аммоний  $NH_4CNSH_2$ . Параллельно измеряли модуль упругости, плотность, а также проводили механические испытания сталей.

На ТЗВТ идентифицировали следующие НЭ: водородную релаксацию Снука (для наводороженных образцов); релаксацию Снука примесей внедрения

$C$  и  $N$ ; дислокационно-примесную релаксацию Снука-Кестера; а также деструкционный эффект, связанный с изменением дислокационной динамики у структурных дефектов поврежденности.

Комплексный анализ указанных НЭ, подтвержденный характеристиками механических и физических свойств, позволил выявить 4 основные стадии накопления поврежденности: 1) стадия появления первых микротрещин и рост пор ( $(0,35-0,7)\sigma_b$ , высота деструкционного максимума:  $Q_m^{-1} = 2,4 \cdot 10^{-4}$ ); 2) стадия накопления дефектов ( $(0,7-0,85)\sigma_b$ ,  $Q_m^{-1} = 16,7 \cdot 10^{-4}$ ); 3) стадия слияния дефектов ( $(0,85-0,97)\sigma_b$ ,  $Q_m^{-1} = 34,3 \cdot 10^{-4}$ ); 4) стадия локализованного разрушения ( $(0,97-1)\sigma_b$ ,  $Q_m^{-1} = 5,24 \cdot 10^{-4}$ ). Полученные результаты хорошо согласуются с данными других исследователей [2]. Наибольшую высоту деструкционного максимума фиксировали на III стадии слияния дефектов поврежденности ( $\epsilon = 13\%$ ). Плотность микротрещин на данной стадии максимальна, размер микротрещин 10-14 мкм. Модуль упругости к концу II стадии падает на 40%. При наводороживании наблюдали аналогичную зависимость изменения параметров деструкционного максимума. Что позволяет говорить о схожих процессах накопления поврежденности при деформировании и наводороживании и позволяет использовать параметры деструкционного НЭ для прогнозирования процессов накопления поврежденности в малоуглеродистой стали.

Полученные результаты доказывают эффективность использования термоактивационных параметров комплекса НЭ для контроля за процессами накопления поврежденности в сплавах системы железо-углерод при различных внешних воздействиях (деформация, наводороживание).

### Список литературы:

- [1]. Чуканов А.Н., Чуканова А.А., Пуханова И.В. The complex analysis of substructural processes of degradation and destruction of metal on the basis of the internal friction's data//Deformation & Fracture of Materials - DFM2006/Book of articles – Moscow: Interkontakt Nauka, 2006, P.82-84.
- [2]. Жаркова Н. А., Ботвина Л. Р., Тютин М. Р. Стадийность накопления повреждений в низкоуглеродистой стали в условиях одноосного растяжения//Металлы, N 3, 2007. С. 64-71.
- [3]. Сергеев Н.Н. Механические свойства и внутреннее трение высокопрочных сталей в коррозионных средах//Дис. на соиск. уч. степ. докт. техн. наук. – Самара, 1996. – 463 с.